

**Департамент образования и науки города Москвы
Государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования города Москвы
«Московский городской педагогический университет»**

**Институт цифрового образования
Департамент информатизации образования**

На правах рукописи

Рябогина Ирина Александровна

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ И
ХРАНЕНИЕМ ДАННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ПУСКА
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В КОСМИЧЕСКОЙ КОРПОРАЦИИ**

**Направление подготовки 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника
Профиль «Управление в социальных и экономических системах»**

**Научный доклад об основных результатах научно-квалификационной
работы (диссертации)**

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
профессор департамента информатизации
образования института цифрового образования
Ромашкова Оксана Николаевна

Москва
2022

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время космические технологии активно развиваются и совершенствуются. За счет современных технологий значительно ускоряется темп как производства, так и управления основными процессами. Многие процессы ставятся на поток и автоматизируются. Но, при этом, в значительной степени минимизируется, но полностью не исключается из процесса, влияние человеческого фактора.

Запуск любого летательного аппарата (ЛА) в космической отрасли является дорогостоящим проектом, как для государственных предприятий, так и для частных коммерческих компаний. Управление процессом, от момента создания аванпроекта до непосредственного запуска ЛА, является сложным, многоуровневым, имеющим множество системных связей и закономерностей функционирования и обеспечивается слаженной работой многих организаций, в том числе из разных стран.

В зависимости от разновидности ЛА, на разных этапах его жизненного цикла (ЖЦ), существуют стандартные и отработанные схемы, проектные и программные решения, математические подходы. Существуют серийные ЛА, которые многократно, с некоторыми изменениями и адаптациями запускаются на орбиту. В основном, — это ракетоносители и разгонные блоки, которые доставляют полезную нагрузку, а именно и космические аппараты, на целевую орбиту.

В рамках указанного, необходимо применив метод теории управления, модифицировать и оптимизировать контроль процесса принятия решения об эффективности и надежности подготовки запуска серийных ЛА. Путем разработки методов и средств управления обработкой и хранением данных моделирования на ключевых этапах ЖЦ изделия повысить эффективность управления, обеспечить надежность и минимизировать экономические риски процесса.

Всё вышеперечисленное определяет **актуальность** темы исследования, направленного на совершенствование методов и средств управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска летательных аппаратов в космической корпорации.

Степень разработанности темы исследования. Российские исследователи сделали серьезный вклад и достигли значительных успехов в следующих направлениях:

- разработка методик управления проектами в космической отрасли – М.В. Лихачев, Е.А. Шапгина, М.В. Сафронов, А.В. Старков, А.Б. Цветков, А.А. Яник и другие;
- разработка алгоритмов управления хранением данных космических летательных аппаратов – А.Г. Басыров, В.А. Максимов и другие;
- анализ рисков при запуске космических летательных аппаратов – Г.П. Беляков, Ю.А. Анищенко, М.В. Сафронов и другие;
- создание моделей и методов управления в социально-экономических и организационных системах – А.И. Гусева, О.Н. Ромашкова, Ф.О. Федин, С.В. Чискидов и другие.

Вместе с тем, проведенный анализ научной и технической литературы показал, что актуальная проблема информационной поддержки управления процессами обработки и хранения данных моделирования, для оценки готовности пуска летательных аппаратов в космической корпорации, не получила достаточного рассмотрения. Это связано с тем, что проблема является междисциплинарной, так как находится на стыке научных исследований в сферах информационных технологий, математики, управления и космической техники. Кроме того, решение проблемы в значительной степени базируется на использовании внутренних информационных ресурсов космической корпорации, методы анализа которых для реализации функций поддержки управленческой деятельности не проработаны в достаточной мере.

Исследования, направленные на создание и теоретическое обоснование методов повышения эффективности управления процессами обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательных аппаратов в космической корпорации, будут востребованы как в настоящее время, так и на обозримую перспективу технического развития.

Цель и задачи работы.

Цель работы – повышение надежности и эффективности системы подготовки пуска ЛА в космической корпорации путем создания методов, алгоритмов и средств управления обработкой и хранением данных моделирования.

Для достижения цели диссертационного исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующих методов, алгоритмов и технических средств управления обработкой и хранением данных о готовности пуска космических летательных аппаратов;
2. Проанализировать информационные процессы и разработать организационную структуру космической корпорации;
3. Разработать имитационную модель управленческих и функциональных информационных процессов, реализуемых при подготовке пуска ЛА в космической корпорации;
4. На основании анализа жизненного цикла серийного летательного аппарата разработать его алгоритм и систему коэффициентов надежности этапов жизненного цикла в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательных аппаратов в космической корпорации;
5. Создать функциональные модели процессов деятельности космической корпорации по подготовке запуска летательного аппарата и модели функционирования информационной системы управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата (ИСУ ОХД ГП);
6. Разработать модели базы данных ИСУ ОХД ГП и методику подготовки данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата;
7. Разработать и реализовать алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования для принятия решения о готовности пуска ЛА;
8. Создать математическую модель оценивания надежности системы

подготовки к запуску летательного аппарата, определить и рассчитать коэффициенты надежности процесса на каждом этапе подготовки пуска ЛА;

9. Разработать и апробировать методику оценивания экономической эффективности от внедрения методов и средств обработки и хранения данных моделирования и системы ИСУ ОХД ГП в космической корпорации.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- Разработана имитационная модель управленческих и функциональных информационных процессов, реализуемых при подготовке пуска ЛА в космической корпорации;
- Разработан алгоритм жизненного цикла серийного летательного аппарата и система коэффициентов надежности его этапов в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата;
- Разработана модель базы данных ИСУ ОХД ГП и методика подготовки данных моделирования для оценки готовности пуска ЛА;
- Разработан алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования для принятия решения о готовности к запуску летательного аппарата;
- Разработана математическая модель оценивания надежности системы подготовки к запуску ЛА;
- Разработана методика оценивания экономической эффективности методов и средств обработки и хранения данных моделирования ИСУ ОХД в космической корпорации.

Объектом исследования являются системные связи и закономерности функционирования процессов управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска ЛА в космической корпорации.

Предметом исследования являются методы и средства управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска ЛА.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- Имитационная модель управленческих и функциональных информационных процессов, реализуемых в космической корпорации, позволяет более детально анализировать и повышать эффективность управления подготовкой запуска серийного летательного аппарата;
- Алгоритм жизненного цикла серийного летательного аппарата и система коэффициентов надежности его этапов в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования, позволяющие оценить риски на основных этапах подготовки пуска ЛА, а также помогающие принять обоснованное решение о его готовности;
- Модель базы данных ИСУ ОХД ГП дает представление о структуре, специфике и взаимосвязи данных моделирования при подготовке пуска ЛА. Методика подготовки данных моделирования обеспечивает последовательный процесс представления и обмена данными, как внутри отдельной организации, так и при взаимодействии между организациями в космической корпорации на основных этапах ЖЦ серийного летательного аппарата;

- Алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования обеспечивает автоматизированную обработку данных и дает оценку результатам проводимых испытаний на соответствие заданным требованиям заказчика;
- Математическая модель оценивания надежности дает представление о качестве подготовки процесса на основных этапах подготовки запуска летательного аппарата и обосновывает принятие решения о его готовности;
- Методика оценивания экономической эффективности рассчитывает и обосновывает положительный эффект от внедрения методов и средств обработки и хранения данных моделирования ИСУ ОХД.

Практическое использование. Практическое использование полученных научных результатов подтверждается актом о внедрении. Результаты работы внедрены в МОКБ «Марс» г. Москва.

Методология и методы исследований. В диссертационной работе для проведения исследований и практических разработок были использованы: методы математического и имитационного моделирования; статистические методы для анализа и обработки данных; методы корреляционного, факторного и кластерного анализов; регрессионный анализ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Имитационная модель управленческих и функциональных информационных процессов, реализуемых при подготовке запуска серийного летательного аппарата;
2. Алгоритм жизненного цикла серийного ЛА и система коэффициентов надежности его этапов в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата;
3. Модель базы данных ИСУ ОХД ГП и методика подготовки данных моделирования для оценки готовности пуска ЛА;
4. Алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования для принятия решения о готовности к запуску летательного аппарата;
5. Математическая модель оценивания надежности системы подготовки к запуску ЛА;
6. Методика оценивания экономической эффективности методов и средств обработки и хранения данных моделирования ИСУ ОХД в космической корпорации.

Степень достоверности и апробация результатов. Уровень обоснованности и достоверности полученных в ходе диссертационного исследования результатов обеспечивается высоким уровнем совпадений теоретических выводов с результатами экспериментов, соотносением их с полученными другими авторами результатами, а также апробацией на научных конференциях и практическим внедрением разработанных моделей и методов управления.

Основные научные положения, полученные в результате проведения диссертационного исследования, опубликованы, докладывались и обсуждались на 3 международных и общероссийских научных конференциях в 2017-2019 годах (позиции 5-7 списка публикаций автора), а также на конференциях института цифрового образования, департамента информатизации образования научных семинарах и

заседаниях кафедры прикладной информатики ГАОУ ВО МГПУ (2022 г.).

Публикации. Основные положения диссертационного исследования отражены в 7 печатных работах. Из них 4 статьи представлены в изданиях, которые включены в перечень научных журналов, рекомендованных ВАК.

Личный вклад. Все представленные в диссертации экспериментальные данные и результаты исследований получены лично автором.

Соответствие паспорту специальности. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах»: п. 1 «Разработка теоретических основ и методов теории управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; п. 3 «Разработка моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах».

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации изложен на 176 страницах и содержит 73 рисунка, 7 таблиц. Список библиографических документов, использованных при работе над темой, содержит 101 наименование отечественной и зарубежной литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, выявлена степень ее разработанности, определена цель и содержание поставленных задач исследования; представлена научная новизна диссертационной работы; описана теоретическая и практическая значимость диссертационной работы; описаны методы исследования; определены основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту, оценена степень достоверности и представлена апробация результатов.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса и исследованию предметной области, на основании которых сформированы задачи исследования. Рассмотрены вопросы менеджмента в космической отрасли в целом. Проведен обзор существующих методов, алгоритмов и технических средств управления обработкой и хранением данных о готовности пуска космических летательных аппаратов, таких как:

- методы математического и статистического моделирования;
- использование автоматизированных цифровых комплексов;
- использование полунатурного моделирования;
- алгоритм формирования полетного задания;
- алгоритмы анализа результатов моделирования;
- и др.

Описаны структура и состав основных данных необходимых для проведения моделирования и для самого процесса запуска ЛА в космической корпорации. Рассмотрена типовая схемы выведения, на основе которой разрабатывается штатная циклограмма полета и соответствующее полетное задание. Описаны типовые

полетные операции и их функциональное значение для процесса выведения полезной нагрузки на орбиту.

Основным этапом подготовки пуска является разработка и аттестация полетного задания. Полетным заданием системы управления разгонного блока называется совокупность массивов данных, вводимых в бортовой цифровой вычислительный комплекс системы управления разгонного блока, которая содержит всю информацию, необходимую для выполнения задачи пуска, включая данные для навигационной системы и настройки алгоритмов СУ, необходимые для развертывания работы систем и агрегатов РБ в процессе выполнения циклограммы пуска РБ.

Комплексная отработка и испытания на моделирующих стендах производятся с целью:

- выявления возможных ошибок, внесенных в бортовое программное обеспечение или полетное задание в процессе их формирования;
- аттестации работоспособности и качества работы бортового программного обеспечения и полетного задания в различных условиях полета;
- проведения оценок точности построения целевой орбиты и величин расхода топлива в ходе выполнения циклограммы выведения.

По результатам проведенного анализа предметной области были выявлены слабые места в процессе управления обработкой и хранением данных, а именно:

- большой объем операций, производимых вручную;
- отсутствие согласованного формата представления данных при передаче между подразделениями внутри одной организации и между организациями, входящими в состав космической корпорации;
- отсутствие единой базы хранения исходных данных и результатов моделирования;
- отсутствие системы коэффициентов надежности этапов жизненного цикла серийного ЛА в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата;
- несовершенный алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования для принятия решения о готовности к запуску летательного аппарата;
- отсутствие инструментов оценивания надежности и экономической эффективности системы подготовки к запуску ЛА;

Исходя из этого, в данной главе представлено обоснование задач по разработке методов и средств управления процессами подготовки запуска космических летательных аппаратов.

Вторая глава посвящена анализу процессов управления жизненным циклом серийного летательного аппарата в космической корпорации, а также анализу информационных процессов внутри космической корпорации.

Проанализированы информационные процессы взаимодействия организаций, входящих в состав космической корпорации, а также представлена ее организационная структура. В организационной структуре космической корпорации описаны зоны ответственности входящих в ее состав организаций, исходя из

специфики процесса, а также распределения производственных и программных мощностей при подготовке пуска серийного летательного аппарата.

В данной научно–квалификационной работе под серийным летательным аппаратом рассматривается разгонный блок, который в связке с ракетой-носителем доставляет полезную нагрузку (космический аппарат) на целевую орбиту.

Укрупненная организационная структура процесса подготовки пуска имеет три основных этапа (Рис. 1):

- подготовка и испытания разгонного блока (РБ);
- подготовка и испытания разгонного блока в связке с космическим аппаратом (КА);
- подготовка и испытания разгонного блока в связке с космическим аппаратом и с ракетой-носителем (РН).

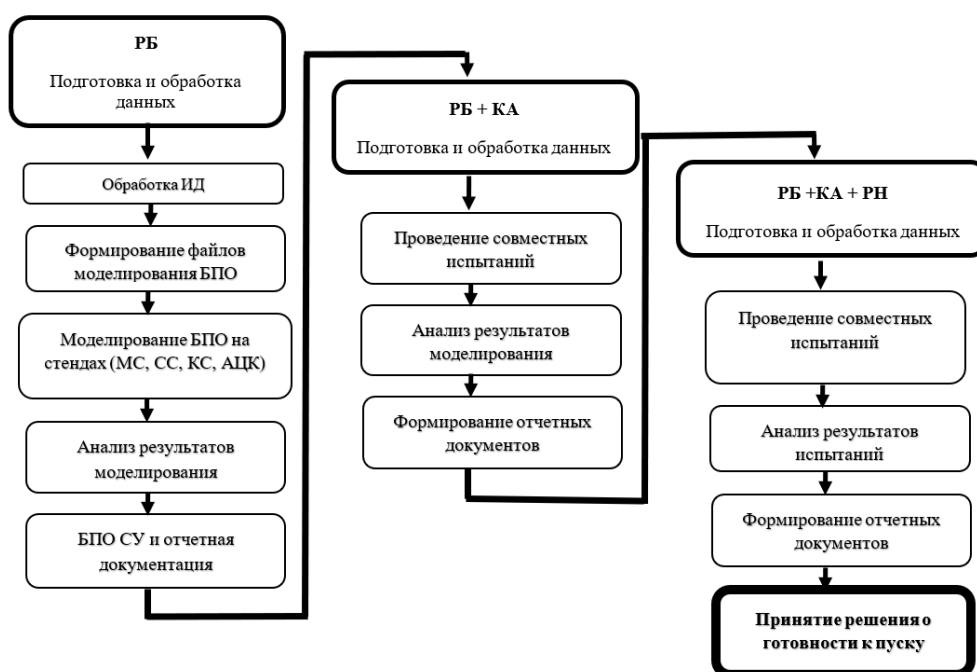


Рисунок 1 - Организационная структура процесса подготовки пуска серийного ЛА

Подготовка серийного ЛА (РБ) заключается в изготовлении самого изделия и входящей в его состав аппаратуры (рисунок 2), а также в разработке бортового программного обеспечения системы управления разгонным блоком (рисунок 3). Оба эти процесса осуществляются организациями, входящими в состав космической корпорации.


```

graph TD
    OrgZ[Организация - Заказчик] -- "Договор  
Исходные данные  
Циклограмма выведения" --> Org1[Организация 1  
Баллистическое обеспечение и  
алгоритмы управления движением]
    OrgZ -- "Договор  
Исходные данные  
Циклограмма выведения" --> Org2[Организация 2  
Бортовой измерительный  
комплекс]
    OrgZ -- "Договор  
Исходные данные  
Циклограмма выведения" --> Org3[Организация 3  
Комплекс командных  
приборов]
    Org1 -- "Договор" --> DO1[Договорной  
отдел]
    Org1 -- "ИД  
ЦП" --> OSO[Отдел систем стабилизации  
и ориентации]
    Org2 -- "Договор" --> DO2[Договорной  
отдел]
    Org2 -- "ИД  
ЦП" --> OUS[Отдел систем управления  
бортовой системы]
    Org3 -- "Договор" --> DO3[Договорной  
отдел]
    Org3 -- "ИД  
ЦП" --> ODKP[Отдел разработки комплекса  
командных приборов]
    DO1 -- "Параметры БОПП" --> OTO[Отдел систем траекторного  
управления]
    OSO -- "Параметры ПАУД" --> OTO
    DO2 -- "Параметры БОПП" --> OUS
    OUS -- "Параметры БОПП" --> OUS
    DO3 -- "Параметры ФДКП" --> ODKP
    ODKP -- "Параметры ФДКП" --> ODKP
    OTO --> Org4[Организация 4  
Сборка ПЗ и наземные испытания]
    OUS --> Org4
    ODKP --> Org4
    Org4 -- "ПЗ/ИПО/Версия БПО/ФДИП" --> MC[MC]
    Org4 -- "ПЗ/ИПО/Версия БПО/ФДИП" --> CC[CC]
    Org4 -- "ПЗ/Версия БПО" --> KS[КС]
    Org4 -- "ПЗ/Версия БПО" --> AC[АЦК]
    MC -- "Результаты моделир." --> OAM[Отдел анализа  
результатов  
моделирования]
    CC -- "Результаты моделир." --> OAM
    KS -- "Результаты моделир." --> OAM
    AC -- "Результаты моделир." --> OAM
    OAM -- "Результаты моделир." --> OrgZ
  
```

Также в данной главе подробно проанализированы информационные потоки, осуществляемые между организациями, входящими в состав космической корпорации на каждом этапе подготовки к пуску.

Технология подготовки пуска серийного ЛА подразумевает многократную обработку больших массивов данных и представление результатов обработки на всех этих этапах и на этапах жизненного цикла самого серийного летательного аппарата. Цена обнаружения ошибки на более поздних этапах процесса значительно выше, чем на начальных. Для более глубокого понимания управленческих и функциональных процессов, реализуемых при подготовке пуска серийного ЛА в данной

главе представлена имитационная модель этих процессов.

Особенность управления процессом подготовки и обработки данных для пуска серийного летательного аппарата (РБ) заключается в большей универсальности, по сравнению с подготовкой к пуску, например, космического аппарата, основная функция которого, по сути, каждый раз уникальна. При анализе жизненного цикла серийного ЛА определяются и формализуются ключевые этапы, последовательности операций, которые повторяются при каждом последующем запуске.

Типовыми этапами жизненного цикла КА являются:

- разработка аванпроекта;
- разработка эскизного проекта и документации;
- изготовление изделия;
- наземная экспериментальная отработка;
- летные испытания;
- серийное производство;
- эксплуатация;
- утилизация.

Показатели надежности при разработке летательного аппарата в космической корпорации в основном определяются на этапе проектирования. На всех последующих этапах они уточняются и подтверждаются. Жизненный цикл серийного летательного аппарата, по сути, это более детально описанный этап серийного производства. Фокус анализа надежности процесса смещается на этап адаптации бортового программного обеспечения для отправки серийным летательным аппаратом (РБ) конкретного космического аппарата на орбиту. Схема выведения, целевая орбита, вес космического аппарата, дата запуска и др. – являются исходными данными для формирования бортового программного обеспечения. Исходя из детального анализа этапа серийного производства были формализованы этапы жизненного цикла РБ в космической корпорации (таблица 1):

Таблица 1

п/п	Наименование этапа	Краткое описание
1	Изготовление изделия РБ	Непосредственное производство изделия и сопутствующей аппаратуры.
2	Адаптация универсальной циклограммы выведения в соответствии с исходными данными и разработка ПЗ	Этап приведения эталонной схемы выведения к схеме, обеспечивающей достижения заданной в ИД целевой орбиты. Формирование полетного задания.

3	Испытания БСУ на стендах моделирования	Этап отработки ПЗ, выявление возможных ошибок в обеспечении выполнения ЦГ, работы измерительных комплексов, функционирования систем и агрегатов РБ и т.д.
	Математический стенд/ Статистический стенд	Начальный этап испытаний. Моделирование полета с использованием имитационного ПО.
	Комплексный стенд	Моделирование на комплексе с реальной аппаратурой и агрегатами РБ, такими как двигатели стабилизации, двигатели коррекции импульса, маршевый двигатель, дополнительный топливный бак, пироустройства и др. Проверяется выполнение типовых полетных операций и обратная связь от элементов комплекса.
	Автоматизированный цифровой комплекс	Испытания прототипа бортового цифрового вычислительного комплекса. Проверка загрузки ПЗ и последующего корректного моделирования в режиме реального времени, в соответствии с длительностью выведения указанного в ИД.
4	Транспортировка и хранение изделий	Отправка изделий на стартовый комплекс и хранение до даты пуска.
5	Совместные испытания с космическим аппаратом	После окончательной сборки всех элементов РБ и установки КА проводятся совместные испытания.
6	Установка на РН	Сборка элементов в единую систему.
7	Предстартовые испытания	Испытания в связке РН + РБ + КА.
8	Эксплуатация	Участок выведения полезной нагрузки на целевую орбиту.
9	Утилизация	Увод РБ на орбиту захоронения.

Основным критерием надежности процесса подготовки, обработки и хранения данных для подготовки к пуску серийного ЛА является достижение целевой орбиты на момент отделения полезной нагрузки (КА). В исходных данных указаны параметры целевой орбиты и допустимые отклонения по этим параметрам. В момент проведения моделирования на имитационных стендах значения этих параметров являются ключевыми показателями для принятия решения о

готовности и успешности пуска. Технология проведения испытаний подразумевает имитацию не только в благоприятных условиях, но и в условиях возникновения аварийных ситуаций. Главная задача такого подхода – это убедиться, что алгоритмы БПО смогут обеспечить достижение целевой орбиты. Для более эффективной оценки надежности алгоритмов разработана следующая система коэффициентов надежности на этапах испытаний БПО на стендах моделирования:

1. Коэффициент точности по контролируемому параметру:

$$K_T = \frac{T}{\omega}, \quad (1)$$

где T – допуск на контролируемый параметр; ω – погрешность или разность наибольшего и наименьшего значения контролируемого параметра по результатам проведения испытаний при разных начальных условиях.

Исходя из ЖЦ серийного ЛА данный коэффициент можно подразделить на отдельные коэффициенты характеризующие каждый из этапов моделирования:

$K_{ТМС}$ – коэффициент точности моделирования на математическом стенде;

$K_{ТСС}$ – коэффициент точности моделирования на статистическом стенде моделирования;

$K_{Тацк}$ – коэффициент точности моделирования на автоматизированном цифровом комплексе;

$K_{ТХ}$ – коэффициент точности моделирования на стенде Х;

$K_{ТрбкА}$ – коэффициент точности при совместных испытаниях РБ + КА;

$K_{ТрбкарН}$ – коэффициент точности при совместных испытаниях РБ + КА + РН.

2. Коэффициент смещения ТПО:

$$K_C = \frac{N_{НК}}{N_K}, \quad (2)$$

где $N_{НК}$ – количество испытаний со смещенными ТПО активных участков; N_K – количество испытаний без смещения ТПО активных участков.

Исходя из ЖЦ серийного ЛА данный коэффициент можно подразделить на отдельные коэффициенты характеризующие некоторые из этапов моделирования:

$K_{смс}$ – коэффициент смещения окончания ТПО при моделировании на математическом стенде;

$K_{ссс}$ – коэффициент смещения окончания ТПО при моделировании на статистическом стенде;

$K_{сацк}$ – коэффициент смещения окончания ТПО при моделировании на автоматизированном цифровом комплексе.

Адаптация БПО СУ РБ является ключевым этапом жизненного цикла серийного летательного аппарата. Для принятия достоверного решения о готовности к пуску целесообразно разработать алгоритм жизненного цикла в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования (рисунок 4). После непосредственного изготовления изделия и проверки его физического функционирования, разрабатывается версия ПО БСУ, содержащее полетное задания, которое

соответствует требованиям по выведению КА. Объектом проводимых испытаний является ПЗ БСУ.

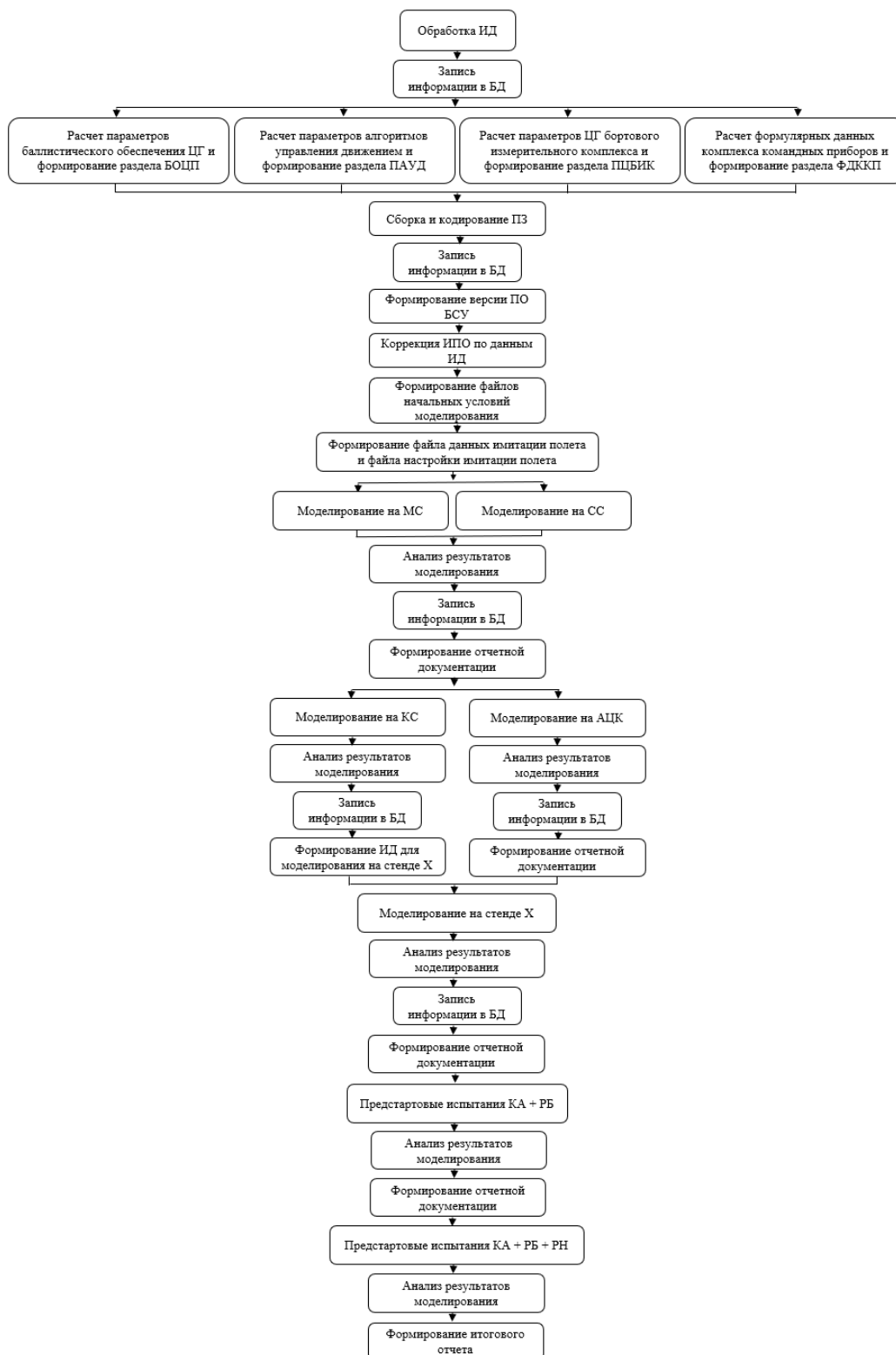


Рисунок 4 - Алгоритм ЖЦ в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования

Третья глава содержит описание функциональных моделей процессов деятельности космической корпорации по подготовке запуска летательного

аппарата.

Как было сказано ранее, в космической корпорации в процессе подготовки пуска ЛА есть два направления проводимых работ – это изготовление изделия, вместе с блоками, аппаратурой и оборудованием и разработка бортовой системы управления. Эти два процесса могут происходить параллельно и независимо друг от друга. Например, процесс изготовления комплекта изделия может значительно опережать процесс адаптации ПО БСУ и после его аттестации может быть отправлен на склад вплоть до момента появления заказа на конкретный запуск. Но, при этом, используется одна структура взаимодействия между организациями. Отличия заключается только в уровнях меж организационного взаимодействия. На рисунке 5 представлена диаграмма управленческих процессов деятельности КК по подготовке пуска. Для удобства представления информации на диаграмме оба направления реализуются параллельно.

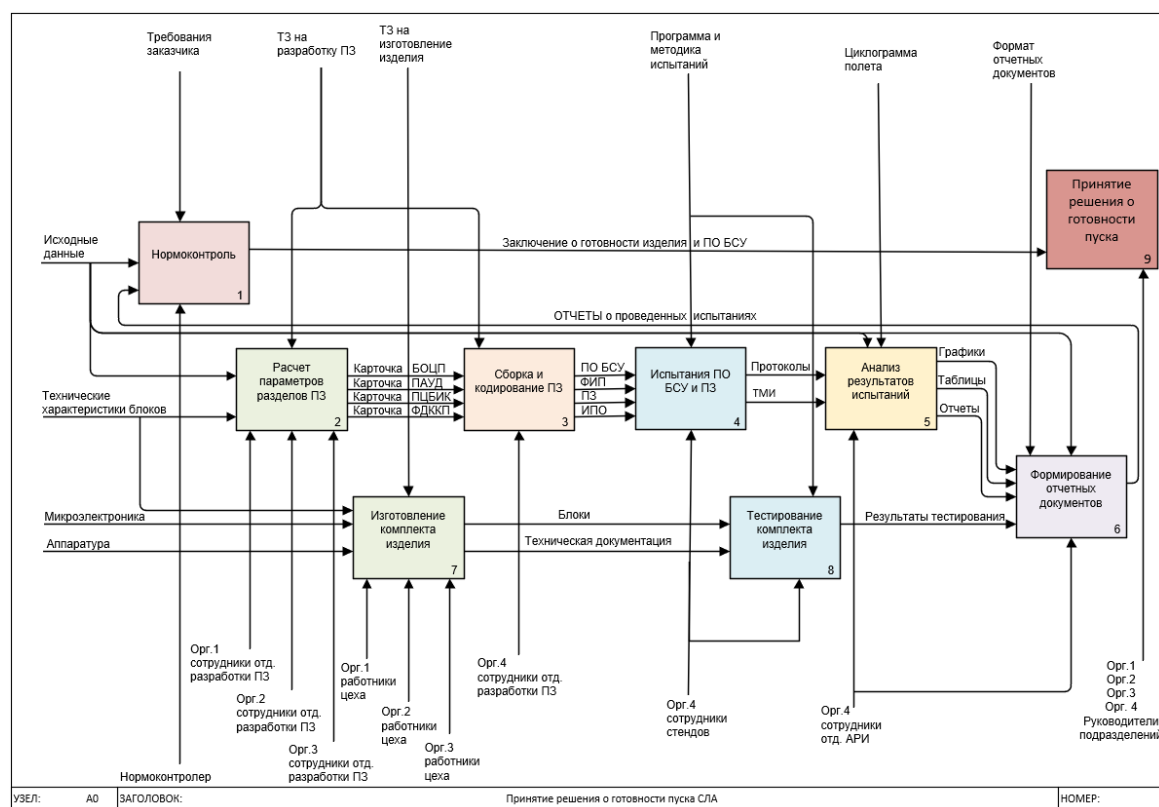


Рисунок 5 – Диаграмма процесса принятия решения о готовности пуска серийного летательного аппарата в космической корпорации

Далее были более детально смоделированы основные управленческие процессы в космической корпорации при подготовке пуска серийного ЛА.

На основе анализа управленческих процессов и информационных потоков в космической корпорации разработаны модели функционирования информационной системы управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата. Это модели позволят разработать информационную систему, которая будет контролировать, хранить и обрабатывать данные, необходимые для принятия руководителями организаций, входящих в состав КК, решения о готовности запуска. В частности, была разработана диаграмма

вариантов использования, которая описывает систему на концептуальном уровне (рисунок 6).

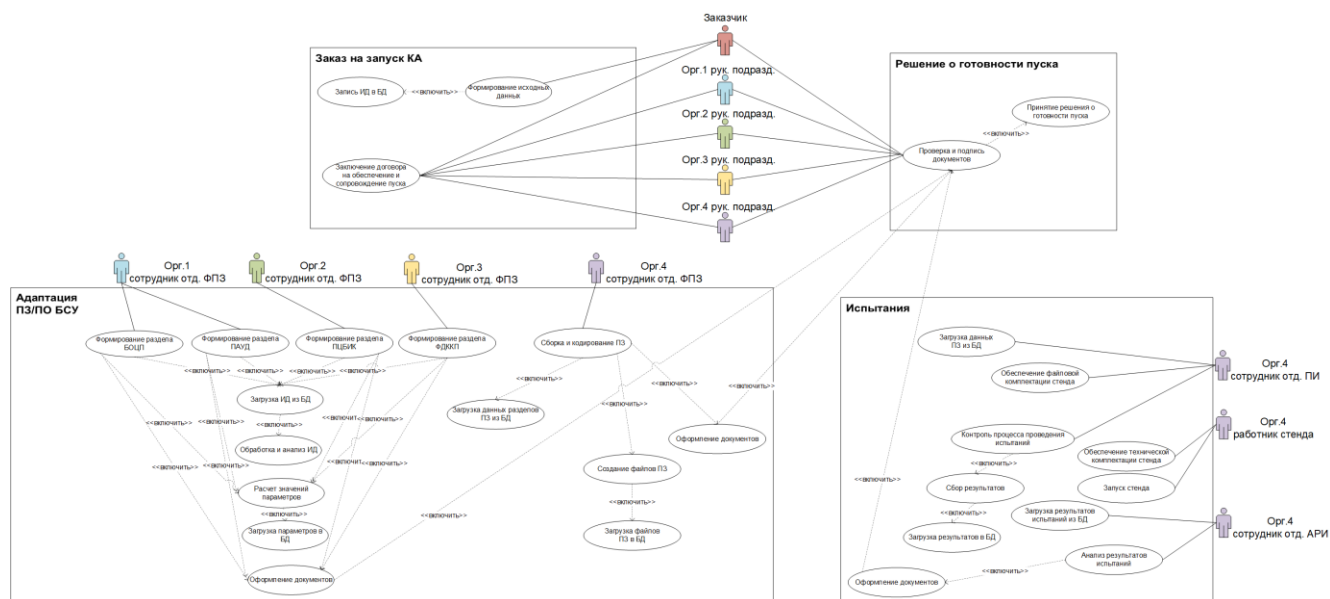


Рисунок 6 – Диаграмма вариантов использования системы управления обработкой и хранением данных моделирования о готовности пуска

По итогам анализа, имеющегося в организациях ПО до момента разработки ИСУ ОХД ГП, можно сделать следующие выводы:

- в организациях, ответственных за формирование разделов ПЗ, использовалось программное обеспечение по расчету соответствующих параметров;
- в организации использовалось устаревшее ПО формирования файлов начальных условий и файлов имитации полета;
- использовалось ПО для моделирования и записи результатов моделирования на стендах;
- использовалось устаревшее ПО для анализа результатов моделирования;
- ПО анализа результатов моделирования не имело функции анализа результатов моделирования на МС и СС;
- формирование отчетной документации, ИД для стенда X и формирования некоторых из файлов имитации полета и начальных условий производилось вручную;
- отсутствовала единая БД хранения ИД, результатов анализа моделирования и данных о результатах пуска.

Таким образом, можно сделать вывод, что целесообразно объединить и усовершенствовать имеющееся ПО, разработать новое ПО, создать единую БД и реализовать единую информационную систему (ИС) по хранению, обработке и передаче данных для подготовки пуска ЛА в космической корпорации.

Информационная система управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска ЛА имеет следующий облик (рисунок 7).

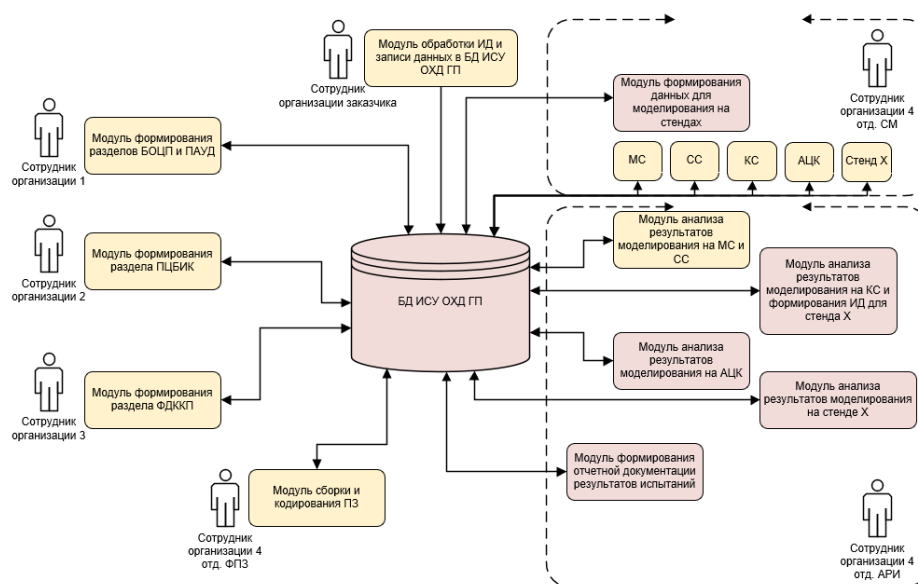


Рисунок 7 - Облик ИСУ ОХД ГП

Для полноценной работы системы необходимо добавить следующие программные модули:

1. Модуль обработки ИД и записи данных в БД ИСУ ОХД ГП (рисунок 8);
2. Модуль формирования параметров разделов ПЗ (рисунок 9);
3. Модули формирования исходных данных для моделирования полета на MC, CC, KC, стенда X, который будет содержать в себе необходимое ПО для формирования специализированных исходных данных (рисунок 10);
4. Доработать модули обработки данных и моделирования полета на MC и CC, которые будут содержать необходимое имитационное ПО и формировать результаты (рисунок 11);
5. Модуль первичного анализа и записи в БД ИСУ ОХД ГП результатов моделирования на MC и CC, который будет содержать в себе необходимое ПО (рисунок 12);
6. Модуль анализа и записи в БД ИСУ ОХД ГП результатов моделирования на АЦК, который будет содержать необходимое ПО (рисунок 12);
7. Модуль анализа и записи в БД ИСУ ОХД ГП результатов моделирования на стенде X, который будет содержать необходимое ПО (рисунок 12);
8. Модуль формирования отчетной документации, который будет содержать в себе необходимое ПО и шаблоны итоговых документов (рисунок 13);

Также необходимо разработать базу данных для хранения исходных данных, результатов моделирования и отчетной документации.

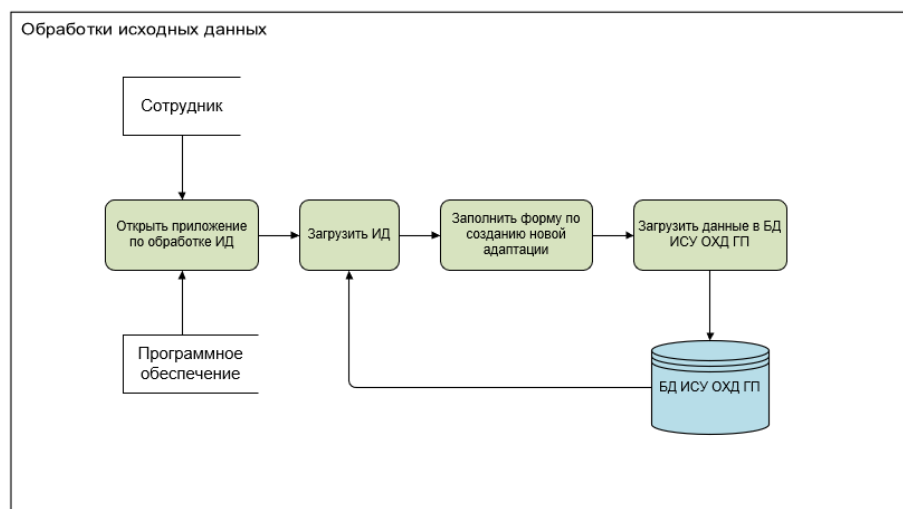


Рисунок 8 - Диаграмма процесса обработки ИД заказчика

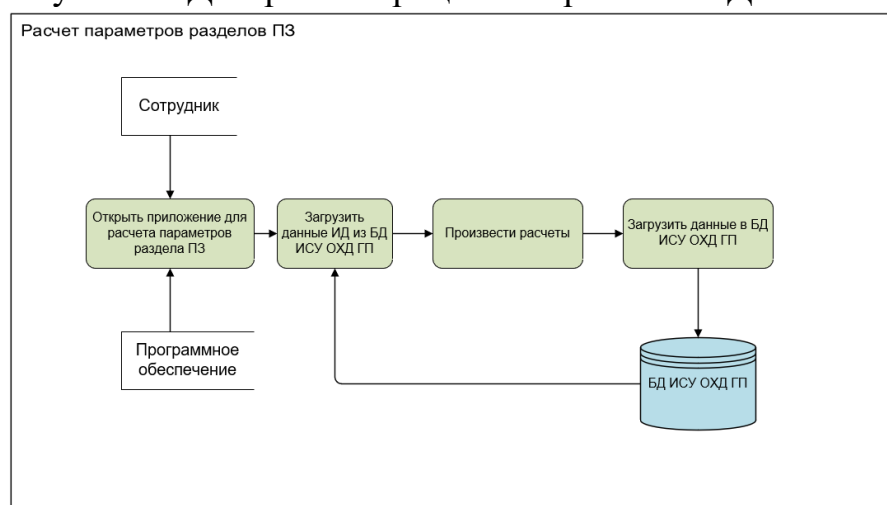


Рисунок 9 - Диаграмма расчета параметров разделов ПЗ

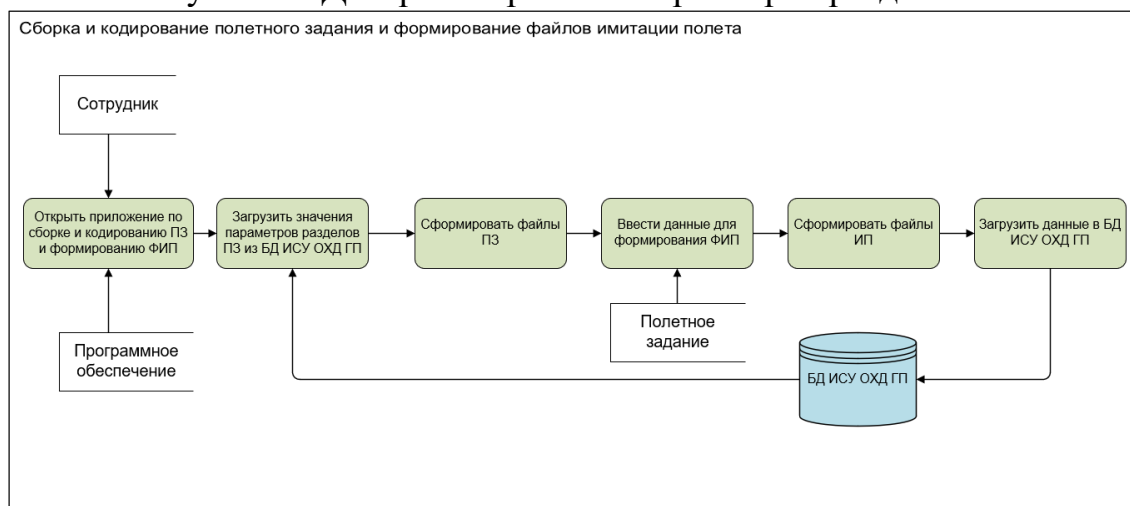


Рисунок 10 - Диаграмма сборки и кодирования ПЗ и формирования ФИП

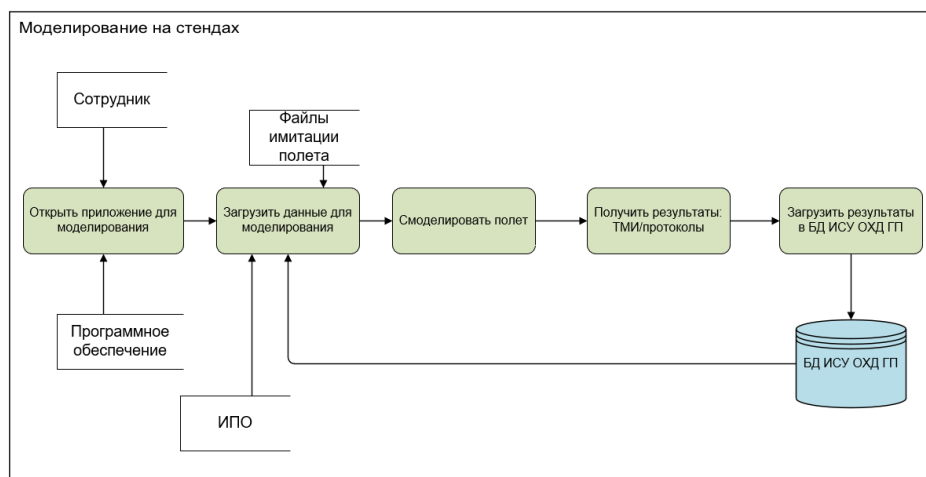


Рисунок 11 - Диаграмма обработки данных моделирования на различных стендах

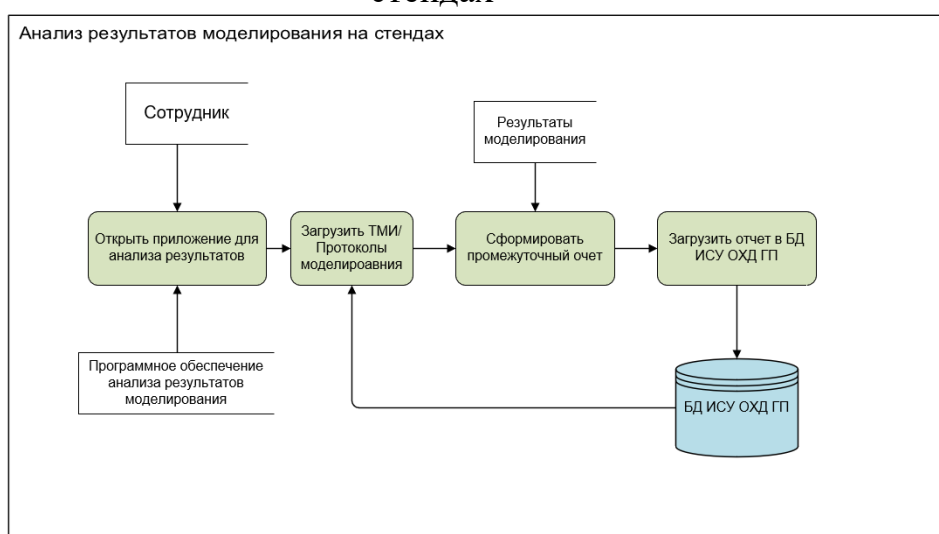


Рисунок 12 - Диаграмма анализа результатов моделирования на различных стендах

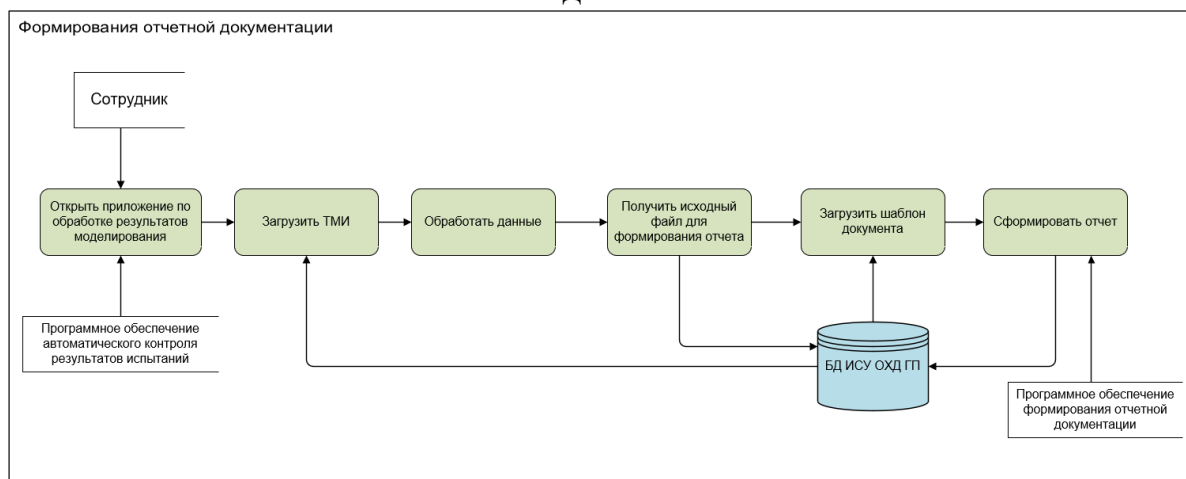


Рисунок 13 - Диаграмма процесса формирования отчетной документации

В данной главе сформулированы и обоснованы функциональные и нефункциональные требования к ИСУ ОХД ГП.

Функциональные требования:

1. Разработать базу данных хранения исходных данных, результатов

моделирования и результатов пусков.

2. Разработать программное обеспечение по формированию файлов начальных условий.

3. Разработать программное обеспечение по формированию файлов данных и настройки имитации полета.

4. Разработать программное обеспечение обработки результатов моделирования на МС, СС, КС и АЦК;

5. Разработать программное обеспечения формирования отчетной документации.

6. Разработать программное обеспечение расчета параметров полетного задания для каждой организации, входящей в космическую корпорацию.

7. Разработать программное обеспечение для сборки и кодирования полетного задания.

8. Обеспечить функцию отслеживания сроков выполнения этапов по подготовке пуска.

Нефункциональные требования:

1. Программное обеспечение ИСУ ОХД ГП должно быть написано на языке программирования Pascal.

2. ИСУ ОХД ГП должна обрабатываться большие массивы информации и поддерживать возможность одновременного использования несколькими операторами.

3. ПО ИСУ ОХД ГП должно быть разработано в операционной системе Windows.

4. Операторы ИСУ ОХД ГП для аутентификации должны иметь логин и пароль.

5. Общий сервер КК должен иметь защищенное соединение.

6. ИСУ ОХД ГП должна обеспечивать работу 1500 сотрудников КК.

7. После разработки ИСУ ОХД ГП предоставить в КК следующие документы:

- Руководство оператора;
- Требования по встраиванию программно-аппаратного комплекса в текущую инфраструктуру КК;

- Программа и методика испытаний;

- Отчет о результатах приемочного;

- Комплект документация ПО ИСУ ОХД ГП (руководство администратора, руководство операциониста, руководство по установке системы).

- Описание автоматизируемых процессов.

- Спецификация.

На основании результатов исследования требований по разработке системы ИСУ ОХД ГП была разработана и внедрена на предприятии ФГУП МОКБ «Марс». В данной главе также представлен интерфейс разработанной ИСУ ОХД ГП.

Для реализации хранения и передачи данных на этапах подготовки пуска серийного ЛА разработана и реализована база данных ИСУ ОХД ГП. Управление процессом подготовки пуска ЛА в космической корпорации подразумевает

обработку большого количества данных, таких как:

- исходные данные по составу типовых полетных операций, обеспечивающих циклограмму выведения ЛА;
- массово-инерционные характеристики космического аппарата;
- данные о параметрах пуска (названия КА, дата, время, координаты точки старта и др.);
- значения параметров разделов полетного задания;
- полетное задание;
- значение параметров файлом начальных условий моделирования;
- файлы для имитации полета;
- телеметрическую информацию;
- протоколы испытаний;
- графики;
- шаблоны ТПО;
- шаблоны отчетных документов;
- и др.

Для создания БД ИСУ ОХД ГП проанализированы входные и выходные данные на всех этапах подготовки пуска в части обработки и хранения информации на примере подготовки ПО БСУ РБ «Бриз-М». Модели БД ИСУ ОХД ГП на этапах обработки ИД, подготовки ПЗ, проведения испытаний представлены на рисунках 14, 15.

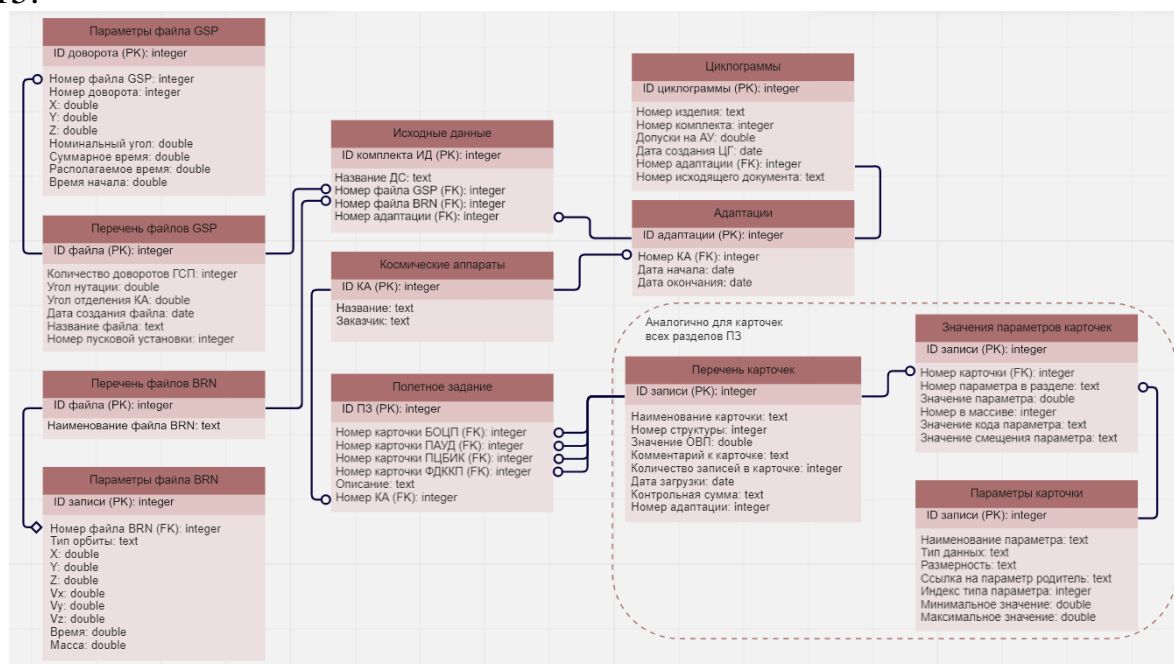


Рисунок 14 - Модель БД ИСУ ОХД ГП на этапе обработки ИД и подготовки ПЗ

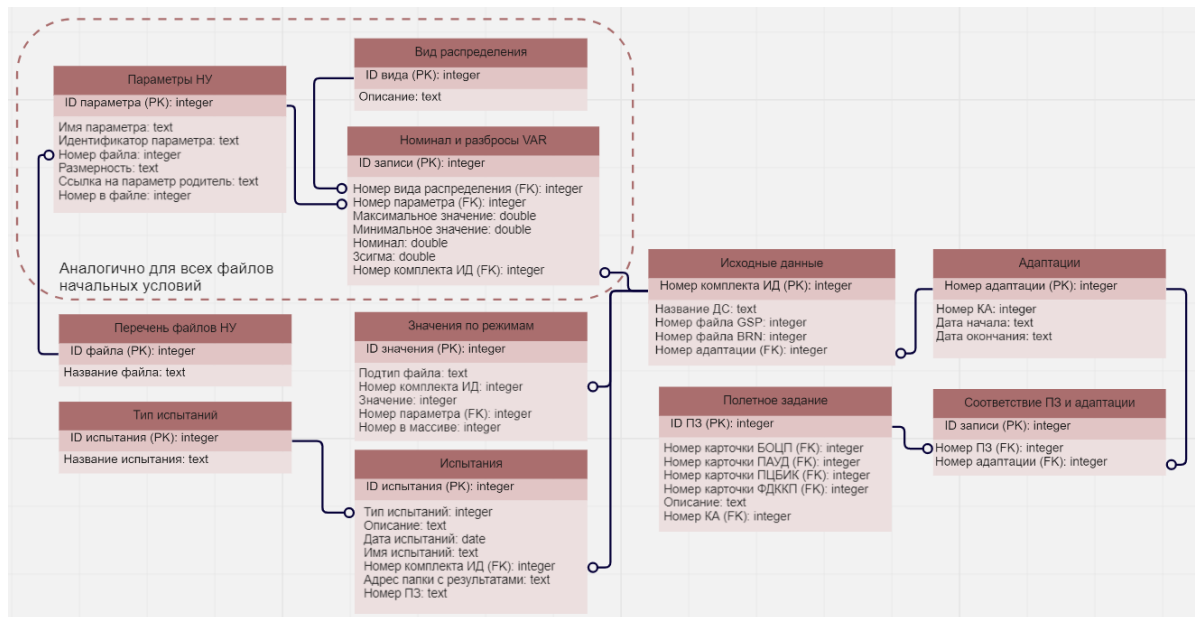


Рисунок 15 - Модель БД ИСУ ОХД ГП на этапе проведения испытаний

В данной главе также описана разработанная методика подготовки данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата. Для проведения испытаний в космической корпорации на различных стендах моделирования необходимы специфические файлы, которые обеспечивают информационный обмен между имитационным ПО и аппаратурой стендов в соответствии с циклограммой выведения ЛА. Эти файлы имеют формализованную структуру и зависят от данных полетного задания для конкретного пуска. Файл данных имитации полета формируется по данным полетного задания и представляет собой последовательность команд, которая выдается в бортовую систему управления, как реакция на достижение того или иного состояния разгонного блока в полете. Файл настройки имитации полета имитирует команды смежных систем через ИСС-4, проводит контроль выполнения событий имитации полета.

Для формирования данных файлов была разработана следующая методика:

1. Исходя из логики циклограммы выведения выделяются основные типовые полетные операции (активные участки, пассивные участки, отделение КА, отделение ДТБ, уводы и др.). Каждая ТПО имеет свою последовательность выдачи команд во времена, рассчитываемые по данным ПЗ;
2. По отдельности рассчитываются соответствующие времена выдачи команд и записываются в массив в неструктурированном виде;
3. Используя метод сортировки массива по времени, формируется готовый файл имитации полета, в соответствии с заданным форматом представления данных.

Также в данной главе разработан алгоритм подготовки, обработки и хранения данных моделирования при подготовке пуска серийного летательного аппарата в космической корпорации (рисунок 16). Вследствие анализа процесса подготовки пуска и анализа причин аварий реализованных пусков, в алгоритм были добавлены дополнительные этапы проверки протоколов результатов моделирования на математическом, статистическом стендах и на автоматизированном цифровом комплексе.

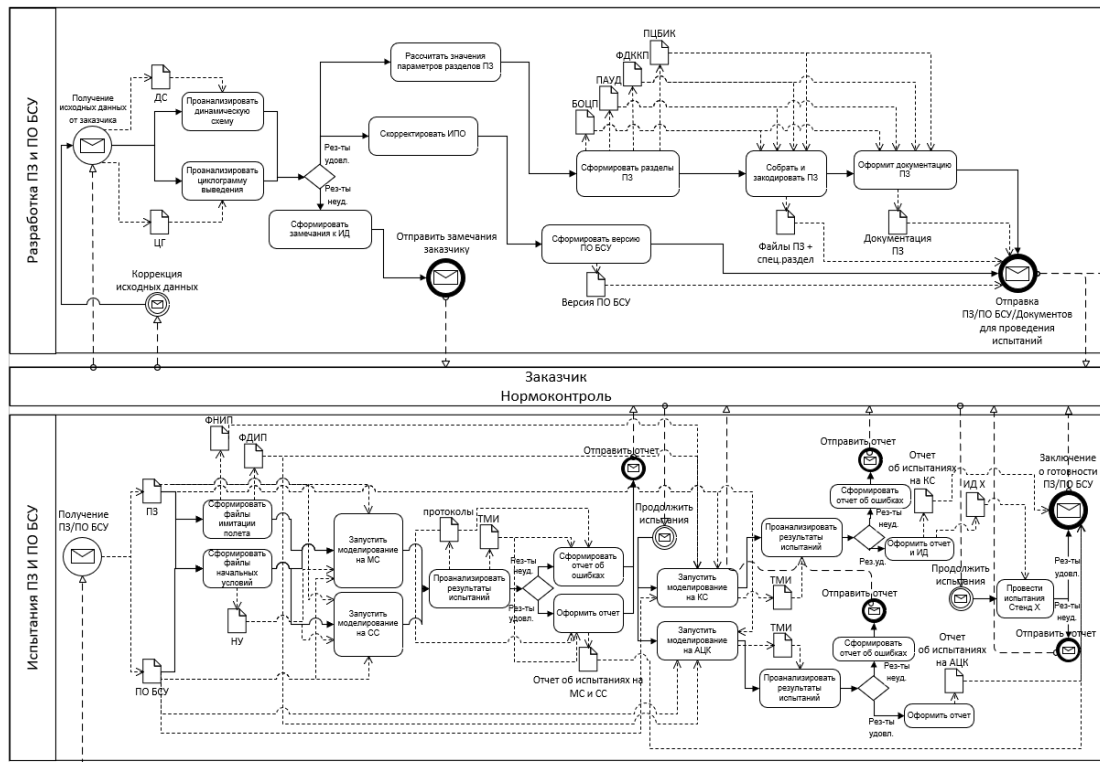


Рисунок 16 – Алгоритм обработки, анализа и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска СЛА

Алгоритм дополнительной проверки протоколов моделирования на МС, СС и АЦК имеет следующую последовательность (рисунок 17, 18):

1. Протокол признаков делится по времени, рассчитанному из полетного задания, на отдельные части, соответствующие полетным операциям. Каждая полетная операция имеет свою последовательность выдачи команд. Не все данные протокола необходимо проверять, поэтому существует перечень особо важных параметров, значения которых требуют проверки.
2. После того, как весь протокол разделен на соответствующие участки, по времени начала ТПО, из БД ИСУ ОХД ГП вызывается соответствующий шаблон.
3. Помимо последовательности команд необходимо проверять их значение. Значение команды может быть однозначным, либо изменяться в определенном диапазоне. Чтобы определить, какая команда, к какому типу относится, в базе данных создан столбец, который определяет тип проверки. Диапазон изменения значения команды и само значение так же хранится в базе данных.
4. При сравнении с шаблоном выбирается первая команда, которую необходимо найти в соответствующей части протокола. Если команда обнаружена, то проверяется ее значение и происходит переход к следующей команде в шаблоне и проверка продолжается с того места протокола, на котором мы находимся в данный момент. Команда, с которой началась проверка в протоколе, запоминается и если нужная команда не обнаружена, то проверка начинается с начала типовой полетной операции до сохраненной команды, для того чтобы выявить возможность выдачи команды в неверной последовательности. Если команда не обнаружена или обнаружена не в свое время, выдается соответствующее сообщение в отчет по анализу протокола.

	name_of_order	name_of_kip	value_of_kip	pr
1	STU	KSTU	1	2
2	SURP	KBLOK1	1	2
3	SURP	KBLOK2	1	2
4	STU	PTS	1	2
5	STU	NREG	9	1
6	SUBS	KO	1	2
7	SSO	TRSO	500	1
8	STU	DELT	360	1
9	DIPO	K90.1	1	2
10	STU	NPROGL	1	2
11	SURP	NBRUGL	0	2
12	SURP	KBLOK2	0	2
13	SURP	NBM1	1	2
14	STU	NDKI	1	2
15	SSO	TRSO	500	1

Рисунок 17 – Процесс проверки протокола моделирования

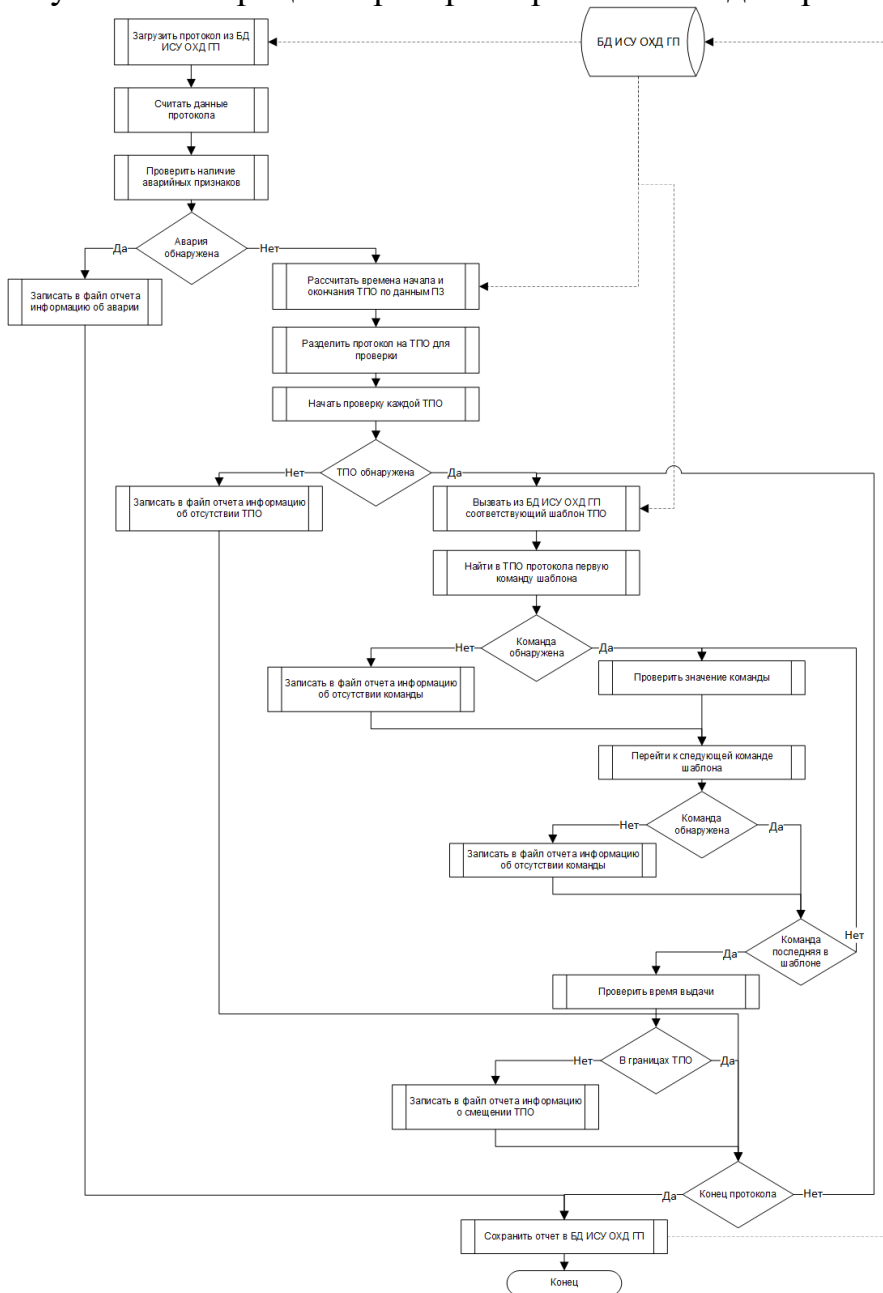


Рисунок 18 – Алгоритм проверки протоколов моделирования на стендах МС, СС и АЦК

В четвертой главе описана разработанная математическая модель оценивания надежности системы подготовки к запуску летательного аппарата.

$$P = P_1 * P_2 * P_3, \quad (3)$$

где P_1 – надежность бортового программного обеспечения (БПО); P_2 – надежность отработки; P_3 – Человеческий фактор.

Произведен сравнительный анализ надежности процесса до и после внедрения ИСУ ОХД ГП. Внедрение ИСУ ОХД ГП значительно снижает риск вероятности возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором за счет автоматизации процесса. Таким образом, надежность системы подготовки к пуску КЛА после внедрения системы возрастает.

Также описаны методики оценки эффективности внедрения системы и произведены соответствующие расчеты:

- Оценка стоимости обнаружения ошибки при последовательном проведении испытаний на различных стендах моделирования;
- Оценка сокращения временных затрат на реализацию процессе подготовки пуска в части подготовки и обработки данных моделирования.

Произведен расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения ИСУ ОХД ГП в космической корпорации.

$$\mathcal{E}_o = \mathcal{E}_r - k_{\text{норм}} * K_{\text{з}}, \quad (4)$$

где \mathcal{E}_r – годовая экономия; $k_{\text{норм}}$ – нормативный коэффициент; $K_{\text{зтр}}$ – капитальные затраты на проектирование и внедрение, в том числе первоначальная стоимость программы.

$$\mathcal{E}_o = 21800762.48 \text{руб.}$$

Данные расчеты позволяют сделать вывод, что разработанная система значительно повышает надежность и экономическую эффективность процесса подготовки пуска серийного ЛА в части подготовки и обработки данных моделирования.

В заключении подведены итоги и отражены основные результаты и выводы исследований, полученные в диссертационной работе.

В приложении приведены дополнительные результаты теоретического и практического исследования, а также копии документов о внедрении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ существующих методов, алгоритмов и технических средств управления обработкой и хранением данных о готовности пуска космических летательных аппаратов;
2. Проанализированы информационные процессы и разработана организационная структура космической корпорации;
3. Разработана имитационную модель управленческих и функциональных информационных процессов, реализуемых при подготовке пуска ЛА в космической корпорации;
4. На основании анализа жизненного цикла серийного летательного аппарата

разработаны его алгоритм и система коэффициентов надежности этапов жизненного цикла в части подготовки, обработки и хранения данных моделирования для оценки готовности пуска летательных аппаратов в космической корпорации;

5. Созданы функциональные модели процессов деятельности космической корпорации по подготовке запуска летательного аппарата и модели функционирования информационной системы управления обработкой и хранением данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата (ИСУ ОХД ГП);
6. Разработаны модели базы данных ИСУ ОХД ГП и методика подготовки данных моделирования для оценки готовности пуска летательного аппарата;
7. Разработан и реализован алгоритм управления обработкой и хранением данных моделирования для принятия решения о готовности пуска ЛА;
8. Создана математическая модель оценивания надежности системы подготовки к запуску летательного аппарата, определить и рассчитать коэффициенты надежности процесса на каждом этапе подготовки пуска ЛА;
9. Разработана и апробирована методика оценивания экономической эффективности от внедрения методов и средств обработки и хранения данных моделирования и системы ИСУ ОХД ГП в космической корпорации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в российских рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК России для опубликования основных научных результатов:

1. Бочаров М.В., Рябогина И.А. Автоматизация работ по адаптации СУ РБ // Труды ФГУП "НПЦАП". Системы и приборы управления. – 2018. – № 2. – С. 7-10.
2. Филиппов А.А., Рябогина И.А. Рекуррентный алгоритм идентификации переходной матрицы состояний динамической системы // Авиакосмическое приборостроение. – 2019. – № 8. – С. 28-32.
3. Рябогина И.А., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Модели информационных процессов управления испытаниями в конструкторском бюро // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 12. – С. 128-134.
4. Рябогина И.А., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Информационная система обработки и хранения данных для моделирования в конструкторском бюро // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1/2. — С. 43-51.

Публикации в других журналах, сборниках научных трудов и материалах научных и научно-практических конференций:

1. Соколов В.Н., Офицеров В.П., Бочаров М.В., Рябогина И.А. Автоматизация процесса адаптации системы управления разгонного блока // Современные тенденции развития науки и технологий– Белгород: АПНИ, 2017. – 153 с. – С. 128-132. – ISSN 2413-0869.
2. Рябогина И.А., Рябогин Н.В. Разработка математической модели надежности процесса адаптации системы управления разгонного блока // Современное

общество, образование и наука – г. Тамбов – Изд-во: UCOM – 2017 г. – С. 96-98 с. – ISSN2412-8988.

3. Бочаров М.В., Рябогина И.А. Автоматизация работ по адаптации системы управления разгонного блока // IV Научно-техническая конференция. – Москва – 2017 – С. 13-14 – ISBN 978-5-9903829-4-7.

Рябогина Ирина Александровна

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ И
ХРАНЕНИЕМ ДАННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ПУСКА
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В КОСМИЧЕСКОЙ КОРПОРАЦИИ**

09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

Управление в социальных и экономических системах

Научный доклад
об основных результатах научно-квалификационной работы
(диссертации)